
Opérateur DYNA_LINE_TRAN

1 But

Calculer la réponse dynamique transitoire à une excitation temporelle quelconque.

Le chargement temporel doit être donné sous la forme d'une combinaison linéaire de vecteurs forces assemblés constants dans le temps. Ils peuvent être fournis directement sous forme de vecteurs assemblés ou sous forme de charges qui seront assemblées dans l'algorithme.

Seuls les coefficients de la combinaison linéaire sont fonction du temps.

Les méthodes d'intégration implicites disponibles sont WILSON-theta et NEWMARK, et les méthodes d'intégration explicites disponibles sont le schéma aux différences centrés, et une version à pas adaptatif de ce même schéma.

Des instants d'archivage peuvent être spécifiés.

Produit un concept résultat de type `dyna_trans`.

Table des matières

1But.....	1
2Syntaxe.....	4
3Equations du comportement sous excitation transitoire.....	6
4Opérandes.....	6
4.1Opérande MODELE.....	6
4.2Opérande CHAM_MATER.....	6
4.3Opérande CARA_ELEM.....	6
4.4Matrices du problème.....	6
4.5Schémas d'intégration. Mot clé SCHEMA_TEMPS.....	7
4.5.1Opérande SCHEMA.....	7
4.6Mot-clé ETAT_INIT.....	8
4.6.1Opérandes RESULTAT.....	8
4.6.2Opérandes DEPL/ VITE/ACCE.....	8
4.6.3Opérandes NUME_ORDRE/ INST_INIT.....	8
4.6.4Opérande CRITERE.....	8
4.6.5Opérande PRECISION.....	10
4.7Mot-clé EXCIT.....	10
4.7.1Opérandes VECT_ASSE / CHARGE.....	10
4.7.2Opérande FONC_MULT.....	10
4.7.3Opérandes MULTI_APPUI / ACCE / VITE / DEPL / DIRECTION / NOEUD / GROUP_NO / MODE_STAT.....	11
4.8Mot clé EXCIT_RESU.....	11
4.9Mot-clé AMOR_MODAL.....	11
4.9.1Opérandes MODE_MECA / AMOR_REDUIT / NB_MODE.....	11
4.10Mot-clé ENERGIE.....	11
4.11Mot-clé SOLVEUR.....	12
4.12Mot-clé INCREMENT.....	12
4.12.1Opérandes LIST_INST / PAS.....	12
4.12.2Opérandes INST_INIT / INST_FIN / NUME_FIN.....	13
4.12.3Opérandes VITE_MIN / COEF_MULT_PAS / COEF_DIV_PAS / PAS_LIMI_RELA / NB_POIN_PERIODE / NMAX_ITER_PAS / PAS_MINI.....	13
4.13Mot-clé ARCHIVAGE.....	15
4.13.1Opérandes LIST_INST/INST.....	15
4.13.2Opérande PAS_ARCH.....	15
4.13.3Opérande CRITERE.....	15
4.13.4Opérande PRECISION.....	15
4.13.5Opérande CHAM_EXCLU.....	15
4.14Opérande TITRE.....	15

Code_Aster

**Version
default**

Titre : Opérateur DYNA_LINE_TRAN
Responsable : ALARCON Albert

Date : 05/04/2013 Page : 3/16
Clé : U4.53.02 Révision :
f1f2bac21bcb

5Concept produit.....	16
6Phase d'exécution.....	16
7Bibliographie.....	16

2 Syntaxe

```
dyn [dyna_trans] = DYNA_LINE_TRAN

(
  ◊ reuse = dyn,
  ◊ MODELE = mo, [modele]
  ◊ CHAM_MATER = chmat, [cham_mater]
  ◊ CARA_ELEM = carac, [cara_elem]
  ◆ MATR_MASS = m, [matr_asse_DEPL_R]
  ◆ MATR_RIGI = k, [matr_asse_DEPL_R]
  ◊ MATR_AMOR = c, [matr_asse_DEPL_R]
  ◊ MODE_STAT = modestat, [mode_meca]
  ◊ SCHEMA_TEMPS = _F (
    ◆ SCHEMA = ( | 'NEWMARK', [DEFAULT]
                  | 'WILSON',
                  | 'DIFF_CENTRE'
                  | 'ADAPT_ORDRE2'
                ),
    ◊ BETA = /0.25, [DEFAULT]
              /beta, [R]
    ◊ GAMMA = /0.5, [DEFAULT]
              /gamma, [R]
    ◊ THETA = /1.4, [DEFAULT]
              /th, [R]
  ),
  ◊ / ETAT_INIT = _F(
    ◆ / RESULTAT = dy, [dyna_trans]

    ◊ / NUME_ORDRE = nuord, [I]
      / INST_INIT = to, [R]
    ◊ / CRITERE = 'RELATIF', [DEFAULT]
      ◊ PRECISION = / 1.E-06, [DEFAULT]
        / prec, [R]
      / CRITERE = 'ABSOLU',
        ◆ PRECISION = prec, [R]
    / DEPL = depl, [cham_no_sdaster]
    VITE = vite, [cham_no_sdaster]
    ACCE = acce, [cham_no_sdaster]
  ),
  ◊ EXCIT = _F ( ◆ / CHARGE = chi, [char_meca]
                 ◊ FONC_MULT = fi, [fonction]
                 / VECT_ASSE = va, [cham_no_sdaster]
                 ◊ / COEF_MULT = ai, [R]
                 / FONC_MULT = fi, [fonction]
                 / DEPL = depl, [fonction]
                 VITE = vite, [fonction]
                 ACCE = acce, [fonction]
                 ◊ MULT_APPUI = / 'OUI',
                               / 'NON', [DEFAULT]
                 ◊ DIRECTION = (d1,d2,d3), [l_R]
                 ◊ NOEUD = lno, [l_noeud]
                 ◊ GROUP_NO = lgrno, [l_gr_noeud]
               ),
  ◊ EXCIT_RESU = _F(
    ◆ RESULTAT = resuforc, [dyna_trans]
    ◆ COEF_MULT = ai, [R]
  )
)
```

```
),
    ◇ AMOR_MODAL = _F(
        ◆ AMOR_REDUIT= l_amor, [l_R]
        ◆ MODE_MECA = mode, [mode_meca]
        ◇ NB_MODE = / nbmode, [I]
        / 9999, [DEFAULT]
    ),
    ◇ SOLVEUR = _F (voir le document [U4.50.01] et le paragraphe
correspondant dans la présente doc.),
        ◆ INCREMENT = _F (
            ◆ / LIST_INST = litps, [listr8]
            / PAS = dt, [R]
            ◇ INST_INIT = ti, [R]
            ◇ / INST_FIN= tf, [R]
            / NUME_FIN= nufin, [I]

            ◇ PAS_CALCUL =/ 1, [DEFAULT]
            / ipas, [I]

            ◇ VITE_MIN = /'MAXI',
            /'NORM', [DEFAULT]
            ◇ COEF_MULT_PAS =/ cmp, [R]
            / 1.1, [DEFAULT]
            ◇ COEF_DIVI_PAS =/ cdp, [R]
            / 1.3334, [DEFAULT]
            ◇ PAS_LIMI_RELA =/ plr, [R]
            / 1.D-06, [DEFAULT]
            ◇ NB_POIN_PERIODE = / npp, [I]
            / 50, [DEFAULT]

            ◇ NMAX_ITER_PAS = nip, [I]
            16, [DEFAULT]
            ◇ PAS_MINI = dtmin, [R]
        ),
    ◇ ENERGIE = _F()

    ◇ ARCHIVAGE = _F(
        ◆ / LIST_INST = list [listr8]
        / INST = in [R]
        / PAS_ARCH = ipa [I]
        ◇ / CRITERE = 'RELATIF', [DEFAULT]
        ◇ PRECISION = / 1.E-06, [ DEFAULT]
        / prec, [R]
        / CRITERE = 'ABSOLU',
        ◆ PRECISION = prec, [R]
        ◇ CHAM_EXCLU = ( | 'DEPL',
        | 'VITE',
        | 'ACCE'
        ),
    ),
    ◇ TITRE = titre, [l_Kn]
    ◇ INFO = / 1,
    / 2,
)

```

3 Equations du comportement sous excitation transitoire

L'opérateur réalise l'intégration temporelle directe d'un problème mécanique linéaire transitoire de la forme :

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \mathbf{x} = \sum_i \alpha_i(t) \mathbf{F}_i(\mathbf{x})$$

où les matrices $\mathbf{M}, \mathbf{C}, \mathbf{K}$ sont les matrices réelles assemblées du problème éléments finis (respectivement) de masse, d'amortissement et de rigidité du système.

Les α_i sont des fonctions du temps (cf. `DEFI_FONCTION` [U4.31.02]) et les \mathbf{F}_i sont des vecteurs assemblés issus de chargements en force imposée (cf. `AFFE_CHAR_MECA` [U4.44.01]) ; ils peuvent être fournis directement sous forme de vecteurs assemblés ou sous forme de charges qui seront assemblées dans l'algorithme.

La solution $(\mathbf{X}, \dot{\mathbf{X}}, \ddot{\mathbf{X}})$ est calculée sur une discrétisation temporelle t_i de l'intervalle d'étude précisé par l'utilisateur.

4 Opérandes

4.1 Opérande `MODELE`

◇ `MODELE = mo`

Nom du modèle dont les éléments font l'objet du calcul dynamique.

Cet opérande est obligatoire lorsque l'on applique une excitation de type charge avec le mot-clé `EXCIT` (cf. [§4.7]).

4.2 Opérande `CHAM_MATER`

◇ `CHAM_MATER = chmat`

Nom du champ de matériau affecté sur le modèle `mo`, nécessaire lorsque l'on applique une excitation de type charge avec le mot-clé `EXCIT`.

4.3 Opérande `CARA_ELEM`

◇ `CARA_ELEM = carac`

Nom des caractéristiques des éléments de poutre, coque etc, nécessaire lorsque l'on applique une excitation de type charge avec le mot-clé `EXCIT`.

4.4 Matrices du problème

◆ `MATR_MASS = m`

Concept matrice assemblée de type `matr_asse_DEPL_R` correspondant à la matrice de masse du système.

◆ `MATR_RIGI = k`

Concept matrice assemblée de type `matr_asse_DEPL_R` correspondant à la matrice de rigidité du système.

◇ `MATR_AMOR = c`

Concept matrice assemblée de type `matr_asse_DEPL_R` correspondant à la matrice d'amortissement du système.

N.B : Les trois matrices doivent s'appuyer sur la même numérotation et être construites avec le même mode de stockage. C'est vrai aussi d'une matrice d'amortissement construite comme combinaison linéaire des matrices de rigidité et de masse par la méthode de Rayleigh : utiliser la matrice de la matrice de masse complète pour construire la matrice d'amortissement et la matrice de masse diagonale (schémas explicites tels que `DIFF_CENTRE` ou `ADAPT`) pour l'intégration en temps peut mener à une instabilité numérique.

4.5 Schémas d'intégration. Mot clé `SCHEMA_TEMPS`

Sous ce mot-clé on peut renseigner un schéma d'intégration avec, éventuellement, ses paramètres. Les schémas disponibles sont à déclarer sous l'opérande `SCHEMA`.

4.5.1 Opérande `SCHEMA`

| 'NEWMARK'

Schéma d'intégration implicite de type NEWMARK. C'est le schéma par défaut pour l'analyse transitoire sur base physique.

On peut préciser les paramètres d'intégration β et γ :

◇ `BETA = beta`

Valeur du paramètre β pour la méthode de NEWMARK. Par défaut $\beta = 0.25$.

◇ `GAMMA = gamm`

Valeur du paramètre γ pour la méthode de NEWMARK. Par défaut $\gamma = 0.5$.

Voir [R5.05.02] pour le choix d'autres valeurs.

| 'WILSON'

Schéma d'intégration implicite de type WILSON. Avec ce schéma on peut renseigner:

◇ `THETA = th`

Valeur du paramètre θ pour la méthode de WILSON. Par défaut $\theta = 1,4$.

Ce schéma ne doit pas être utilisé lorsque l'on impose des déplacements non nuls par l'intermédiaire d'un vecteur assemblé. Voir [R5.05.02].

| 'DIFF_CENTRE'

Schéma d'intégration explicite par différences centrées. L'utilisation de ce schéma impose certaines restrictions d'utilisation énumérées au [§6.3]. La description théorique du schéma est faite dans [bib 2].

| 'ADAPT_ORDRE2'

Schéma d'intégration explicite à pas de temps adaptatif, variante du schéma des différences centrées. L'utilisation de ce schéma impose certaines restrictions d'utilisation énumérées au [§6.3] (voir [bib 2]).

Nota bene

On ne peut pas utiliser les schémas **explicites** (`DIFF_CENTRE`, `ADAPT_ORDRE2`) avec les **éléments de plaque et coque** (sauf SHB).

4.6 Mot-clé ETAT_INIT

Cette fonctionnalité permet une poursuite d'un calcul transitoire, en prenant comme état initial un résultat obtenu par un calcul précédent avec DYNA_LINE_TRAN. Elle permet aussi de définir des conditions initiales de type champs aux noeuds.

Nota bene

Pour les schémas d'ordre supérieur (*NEWMARK* ou *WILSON*), l'accélération initiale (*acce_init*) joue un rôle important dans l'initialisation du schéma.

4.6.1 Opérandes RESULTAT

◆ / RESULTAT = dy

Concept de type *dyna_trans* issu d'un calcul précédent avec DYNA_LINE_TRAN, et définissant les conditions initiales pour le nouveau calcul.

4.6.2 Opérandes DEPL/ VITE/ACCE

/ DEPL = do

Concept correspondant aux déplacements initiaux (champ aux noeuds de grandeur *DEPL_R*).

VITE = vo

Concept correspondant aux vitesses initiales (champ aux noeuds de grandeur *DEPL_R*).

ACCE = ao

Concept correspondant aux accélérations initiales (champ aux noeuds de grandeur *DEPL_R*).

Si le mot clef est présent, on utilise le champ d'accélération entré pour initialiser les différents schémas d'intégration en temps selon les algorithmes décrits dans le document [R5.05.02].

S'il est absent on calcule une accélération initiale par la formule suivante :

$$M.a_o = F_{ext}(t = t_o) - C.v_o - K.x_o$$

Remarque importante :

Lorsque l'état initial du système dynamique est défini par des champs de DEPL, VITE, et/ou ACCE, les composants de ces champs qui n'ont pas été explicitement renseignés lors de la création des champs sont considérés nuls lors du calcul dynamique transitoire.

4.6.3 Opérandes NUME_ORDRE/ INST_INIT

◆ / NUME_ORDRE = nuord

nuord désigne le numéro d'archivage du calcul précédent à extraire et à prendre comme état initial dans le cas d'une reprise.

/ INST_INIT = to

Instant du calcul précédent à extraire et à prendre comme état initial dans le cas d'une reprise.

En l'absence de NUME_ORDRE et INST_INIT, l'instant de reprise est pris égal au dernier instant de calcul précédent archivé.

4.6.4 Opérande CRITERE

◆ CRITERE =

Indique avec quelle précision la recherche de l'instant doit se faire :

'RELATIF' : intervalle de recherche [(1-prec).instant, (1+prec).instant]

'ABSOLU' : intervalle de recherche [instant-prec, instant+prec]

La valeur par défaut du critère de recherche est 'RELATIF'.

4.6.5 Opérande PRECISION

◇ PRECISION = / 1.E-06 [DEFAULT]
/ prec [R]

Indique avec quelle précision la recherche de l'instant doit se faire.

4.7 Mot-clé EXCIT

◇ EXCIT =

Opérande permettant de définir plusieurs excitations spatio-temporelles. Soit en indiquant un vecteur assemblé correspondant à un chargement, soit des charges qui conduiront au calcul et à l'assemblage d'un second membre. Le vecteur assemblé peut être associé à une fonction d'évolution temporelle ou un coefficient multiplicateur constant.

Le chargement total est la somme des chargements définis par toutes les occurrences du mot-clé EXCIT (cf. [§4.7.2]).

4.7.1 Opérandes VECT_ASSE / CHARGE

◆ / VECT_ASSE = vecti

Vecteur assemblé correspondant à un chargement (concept de type cham_no_DEPL_R).

◇ / COEF_MULT = ci

Coefficient multiplicatif du vecteur assemblé vecti.

/ FONC_MULT = α_i

Voir [§4.7.2].

/ CHARGE = chi

chi est le chargement comportant éventuellement l'évolution d'un champ de température précisé par la $i^{\text{ème}}$ occurrence de EXCIT.

Voir [§4.7.2].

4.7.2 Opérande FONC_MULT

◇ FONC_MULT = α_i

α_i est la fonction du temps multiplicative du vecteur assemblé ou du chargement précisé à la $i^{\text{ème}}$ occurrence de EXCIT.

Le chargement **ch** et les conditions aux limites pour n occurrences du mot-clé facteur EXCIT sont :

$$\mathbf{ch}(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i(t) \mathbf{ch}_i$$

Le ou les champs de température ne sont pas multipliés par α_i en analyse thermomécanique.

Remarque importante :

Les conditions aux limites de type déplacement imposé non nul peuvent être imposées avec un vecteur assemblé ou une charge ; il faut alors utiliser impérativement le schéma de Newmark .

4.7.3 Opérandes MULTI_APPUI / ACCE / VITE / DEPL / DIRECTION / NOEUD / GROUP_NO / MODE_STAT

Dans le cas d'une excitation multi-appuis (`MULTI_APPUI = 'OUI'`), les autres opérandes ont exactement la même signification que dans le mot-clé facteur `EXCIT` de l'opérateur `DYNA_TRAN_MODAL` [U4.53.21].

4.8 Mot clé EXCIT_RESU

Mot clé permettant de définir plusieurs compléments de chargement sous forme d'une évolution transitoire de vecteurs assemblés seconds membres.

4.9 Mot-clé AMOR_MODAL

Ce mot-clé permet de prendre en compte un amortissement équivalent à de l'amortissement modal décomposé sur une base de modes pré-calculée sous forme de concept de type `mode_meca`. Cet amortissement est globalement pris en compte dans l'équation d'équilibre dynamique comme une force correctrice au second membre $-C\dot{X}$.

N.B. : Cette façon d'introduire l'amortissement modal dans un problème calculé sur base physique peut réduire les propriétés de stabilité des schémas en temps. En particulier pour le schéma d'intégration 'NEWMARK' elle peut conduire à réduire le pas de temps par rapport au pas de temps sans amortissement pour éviter des divergences numériques.

4.9.1 Opérandes MODE_MECA / AMOR_REDUIT / NB_MODE

- ◆ `MODE_MECA` = `mode`
- ◆ `AMOR_REDUIT` = `l_amor`
- ◇ `NB_MODE` = `nbmode`

Le concept `mode` de type `mode_meca` (entré par l'opérande `MODE_MECA`) représente la base de modes pré-calculée sur laquelle on décompose l'amortissement modal. Cette base doit impérativement avoir le même profil de numérotation que celui du système dynamique défini par les paramètres du mot-clé `SOLVEUR` [§4.11]. Il est possible de tronquer la base modale à un nombre de modes défini par `NB_MODE`. A défaut, on prend tous les modes de la base modale.

Les amortissements modaux sous forme réduite sont donnés sous forme d'une liste de réels dont le nombre de termes est inférieur ou égal au nombre de modes pris en compte. Si le nombre de termes de la liste est strictement inférieur, on étend cette liste avec la valeur de son dernier terme jusqu'à ce que sa taille atteigne le nombre de modes calculés.

4.10 Mot-clé ENERGIE

- ◇ `ENERGIE` = `_F(...)`

Ce mot-clé permet d'activer le calcul du bilan d'énergie, son affichage en cours de calcul et son stockage dans la table de nom `PARA_CALC`. Le bilan d'énergie peut être extrait de cette table à l'aide de la commande `RECU_TABLE` [U4.71.02].

4.11 Mot-clé SOLVEUR

La syntaxe de ce mot-clé commun à plusieurs commandes est décrite dans le document [U4.50.01]. Cependant, il convient de faire attention à quelques singularités de l'utilisation des solveurs dans DYNA_LINE_TRAN :

La renumérotation RENUM=RCMK (utilisable pour LDLT et GCPC) modifie l'ordre des inconnues (NUME_EQUA), alors que la renumérotation pour MULT_FRONT (METIS/MDA/MD) est "interne" au solveur : les inconnues (des champs solutions) sont rangées dans l'ordre naturel des nœuds du maillage.

Or, dans DYNA_LINE_TRAN, les matrices étant fournies en entrée, elles ont déjà une numérotation ("SANS" ou "RCMK") et on ne peut pas toujours changer cette numérotation dans DYNA_LINE_TRAN.

On récapitule ci-dessous les différents cas de figure :

1) si matrices K et M sont numérotées avec :

- METHODE = 'MULT_FRONT' RENUM=METIS/MDA/MD
ou - METHODE = 'LDLT' RENUM=SANS

alors :

- on peut utiliser dans DYNA_LINE_TRAN :

- METHODE = 'MULT_FRONT' RENUM=METIS/MDA/MD
- METHODE = 'LDLT' RENUM=SANS

- on NE PEUT PAS utiliser dans DYNA_LINE_TRAN :

- METHODE = 'LDLT' RENUM=RCMK
(en réalité, on peut le faire mais RCMK est ignoré)

2) si matrices K et M sont numérotées avec :

- METHODE = 'LDLT' RENUM=RCMK

alors :

- on peut utiliser dans DYNA_LINE_TRAN :

- METHODE = 'MULT_FRONT' RENUM=METIS/MDA/MD
- METHODE = 'LDLT' RENUM=RCMK

- on NE PEUT PAS utiliser dans DYNA_LINE_TRAN :

- METHODE = 'LDLT' RENUM=SANS
(en réalité, on peut le faire mais SANS est ignoré)

4.12 Mot-clé INCREMENT

Mot-clé facteur définissant les instants de calcul.

4.12.1 Opérandes LIST_INST / PAS

- Pour les schémas de Newmark et Wilson :

♦ / LIST_INST = l_temp

Concept liste de réels de type listr8.

Liste de réels définissant les instants t_i de calcul de la solution

- Pour les schémas des différences centrées et à pas de temps adaptatif :

/ PAS = dt

Désigne le pas de temps utilisé par l'algorithme. Ce mot-clé est obligatoire pour le schéma des différences centrées et pour le schéma adaptatif et non disponible pour les schémas de Newmark et Wilson.

Pour le schéma adaptatif, il désigne à la fois le pas de temps initial et le pas de temps maximal utilisés par l'algorithme.

Ce paramètre doit être suffisamment faible :

- pour permettre le calcul des phases statiques (qui utilisent toujours le pas maximal),
- pour démarrer correctement l'algorithme.

Il doit cependant être suffisamment élevé pour ne pas pénaliser l'ensemble du calcul.

4.12.2 Opérandes `INST_INIT` / `INST_FIN` / `NUME_FIN`

Pour les schémas des différences centrées et à pas de temps adaptatif :

◇ `INST_INIT = ti`

En cas de reprise on utilise le mot-clé `ETAT_INIT` [§4.6] : sous ce mot-clé, l'instant initial est récupéré avec l'opérande `INST_INIT` ou pris égal au dernier instant de calcul précédent archivé.

L'opérande `INST_INIT` sous `INCREMENT` doit donc être utilisée uniquement s'il n'y a pas reprise d'un calcul précédent.

◇ `/ INST_FIN = tf`

Instant de fin du calcul transitoire. Obligatoire pour les schémas des différences centrées et à pas de temps adaptatif.

`/ NUME_FIN = nufin`

Numéro de l'instant de fin de calcul dans `LIST_INST` (uniquement pour les schémas de Newmark et Wilson).

Si `INST_INIT` n'est pas présent, l'instant initial est zéro.

4.12.3 Opérandes `VITE_MIN` / `COEF_MULT_PAS` / `COEF_DIV_PAS` / `PAS_LIMI_RELA` / `NB_POIN_PERIODE` / `NMAX_ITER_PAS` / `PAS_MINI`

Ces opérandes ne concernent que le schéma à pas de temps adaptatif.

◇ `VITE_MIN = / 'NORM' [DEFAULT]`
`/ 'MAXI'`

Méthode de calcul de la vitesse de référence utilisée pour évaluer la fréquence apparente.

Quand le dénominateur de la fréquence apparente ($x_n - x_{n-1}$) devient faible, la fréquence apparente peut devenir très élevée, ce qui conduit à un raffinement injustifié du pas de temps. Pour y remédier, l'algorithme utilise le critère suivant pour chaque degré de liberté i :

$$\frac{|x_n^i - x_{n-1}^i|}{\Delta t} \leq v_{min}^i \Rightarrow f_{AP_n} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\ddot{x}_n^i - \ddot{x}_{n-1}^i}{v_{min}^i \Delta t}}$$

v_{min}^i peut être calculée de deux façons différentes selon la valeur de `VITE_MIN` :

'NORM' : $v_{min}^i(t_n) = \text{Max} \left(\frac{\text{Max}(\dot{x}_{n+1/2}^k, \dot{x}_{n+1/2}^l)}{100}, 10^{-15} \text{ms}^{-1} \right)$ où k et l sont les degrés de liberté de même nature que le degré de liberté i les plus proches de i dans la numérotation (DX ou DY ou DZ ...).

'MAXI' : $v_{min}^i(t_n) = \text{Max}_{0 < t_p < t_n} \left(\frac{|v^i(t_p)|}{100}, 10^{-15} \text{ms}^{-1} \right)$ pour le degré de liberté i .

Peut être utilisé si l'ordre de grandeur de la vitesse ne varie pas trop au cours du temps.

◇ COEF_MULT_PAS = cmp

Coefficient de déraffinement du pas de temps (> 1) lorsque l'erreur est suffisamment faible :

$$\Delta t_n < \frac{0.75}{Nf_{AP_n}} \text{ depuis plus de 5 pas consécutifs} \Rightarrow \Delta t_{n+1} = \min(\text{cmp} \Delta t_n, \Delta t_{max})$$

avec $\Delta t_{max} = \Delta t_{initial}$

Sa valeur par défaut ($\text{cmp} = 1.1$) garantit stabilité et précision, mais il peut en général être augmenté (au plus jusqu'à 1.3) pour accélérer l'intégration.

◇ COEF_DIVI_PAS = cdp

Coefficient de raffinement du pas de temps (> 1) lorsque l'erreur est supérieure à 1, que le nombre d'itérations maximales (NMAX_ITER_PAS) n'est pas atteint et que le pas de temps minimal n'est pas atteint :

$$\Delta t_n > \frac{1}{Nf_{AP_n}}, \text{ Niter} < \text{Niter}_{max} \text{ et } \Delta t_n > \text{plr} * \Delta t_{initial} \Rightarrow \Delta t_n = \frac{\Delta t_n}{\text{cdp}}$$

Sa valeur par défaut est de 1.3334, soit une réduction d'un facteur 0,75.

◇ PAS_LIMI_RELA = plr

Coefficient appliqué au pas de temps initial pour définir la limite de raffinement et donc le pas de temps minimal :

$$\Delta t_{min} = \text{plr} * \Delta t_{initial}$$

◇ NB_POIN_PERIODE = N

Nombre de points par période apparente. C'est ce paramètre qui fixe la précision du calcul. Il doit être au moins égal à 20 ; sa valeur par défaut (50) garantit une précision satisfaisante (de l'ordre de 1 à 2%) dans la plupart des cas.

◇ NMAX_ITER_PAS

Nombre maximal de réductions du pas de temps par pas de calcul :

si $\text{err} > 1$ et $N_{iter} < N_{iter\ max}$: $\Delta t_n = \text{cdp} * \Delta t_n$

Il est par défaut égal à 16, ce qui limite le coefficient de réduction du pas à $(1/1,33)^{16} = 10^{-2}$ par itération. NMAX_ITER_PAS peut être :

- augmenté pour permettre au pas de temps de chuter de façon plus brutale,
- diminué si le pas de temps semble excessivement raffiné.

◇ PAS_MINI = dtmin

Valeur minimale du pas de temps. Si les conditions de diminution du pas de temps sont remplies, le pas de temps courant pourra alors diminuer jusqu'à cette valeur limite.

Si l'utilisateur ne donne pas de valeur à ce paramètre facultatif, alors le code calculera le pas de temps minimal à partir de `PAS_LIMI_REL`.

4.13 Mot-clé ARCHIVAGE

◇ `ARCHIVAGE =`

Mot-clé facteur définissant l'archivage. En l'absence de ce mot-clé facteur, tous les pas de temps sont archivés.

Quelle que soit l'option d'archivage choisie, on archive le dernier pas de temps et tous les champs associés pour permettre une éventuelle poursuite.

4.13.1 Opérandes LIST_INST/INST

◇ `/ LIST_INST = list`

Liste de réels définissant les instants de calcul pour lesquels la solution doit être archivée dans le concept résultat `dyna_tran`.

◇ `/ INST`

Instants de calcul pour lesquels la solution doit être archivée dans le concept résultat `dyna_tran`.

4.13.2 Opérande PAS_ARCH

`/ PAS_ARCH = ipa`

Entier définissant la périodicité d'archivage de la solution du calcul transitoire dans le concept résultat `dyna_trans`.

Si `ipa = 5` on archive tous les 5 pas de calcul.

4.13.3 Opérande CRITERE

◇ `CRITERE =`

Indique avec quelle précision la recherche de l'instant à archiver doit se faire :

'RELATIF' : intervalle de recherche `[(1-prec).instant, (1+prec).instant]`

'ABSOLU' : intervalle de recherche `[instant-prec, instant+prec]`

La valeur par défaut du critère de recherche est 'RELATIF'.

4.13.4 Opérande PRECISION

◇ `PRECISION = / 1.E-06 [DEFAULT]`
`/ prec [R]`

Indique avec quelle précision la recherche de l'instant à archiver doit se faire.

4.13.5 Opérande CHAM_EXCLU

◇ `CHAM_EXCLU = (`
`| 'DEPL',`
`| 'VITE',`
`| 'ACCE',`
`)`

Permet d'exclure l'archivage d'un ou plusieurs champs parmi 'DEPL', 'VITE' et 'ACCE'.

Cette exclusion est ignorée pour le dernier instant de calcul : les trois champs sont nécessaires pour une `POURSUITE`.

4.14 Opérande TITRE

◇ `TITRE = titre`

Titre de la structure de données résultat [U4.03.01].

5 Concept produit

dyn est un concept produit de type `dyna_trans` qui contiendra de 1 à 3 champs aux nœuds pour chaque instant archivé.

Ces `cham_no` ont pour nom symbolique :

DEPL : déplacement
VITE : vitesse
ACCE : accélération

6 Phase d'exécution

L'utilisation des schémas des différences centrées et adaptatifs impose certaines restrictions d'utilisation :

- ces deux schémas nécessitent l'utilisation d'une matrice de masse diagonale. Un test vérifie que la matrice de masse a été créée avec l'option 'MASS_MECA_DIAG' de `CALC_MATR_ELEM`. D'autre part, la matrice de masse doit être stockée en ligne de ciel,
- il ne doit pas y avoir d'autres conditions aux limites que des degrés de liberté bloqués. Un test vérifie qu'il n'y a pas de conditions aux limites de type liaisons entre degrés de liberté. Il n'est pas non plus possible d'imposer des déplacements non nuls par l'intermédiaire d'un vecteur assemblé,
- pour le schéma des différences centrées, on s'assure que le pas de temps choisi vérifie les conditions de stabilité :

$dt < 0,05 / f_{max}$ avec $f_{max} = \max_{1 \leq i \leq nddl} \left(\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{ii}}{m_{ii}}} \right)$ et k_{ii} et m_{ii} termes diagonaux des matrices de raideur et de masse.

7 Bibliographie

- 1) BATHE K.J. : Finite Element Procedures in engineering Analysis. Prentice-Hall, 1982.
- 2) LEGER A.C. : Introduction des schémas explicites « différences centrées » et « pas de temps adaptatif » dans l'opérateur `DYNA_LINE_TRAN` du *Code_Aster*. Note EDF HP51/97/067/A 1997.